

Docket No.: 57810-088

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

| | | |
|---|---|------------------------|
| In re Application of | : | Customer Number: 20277 |
| | : | |
| Eiji MARUYAMA | : | Confirmation Number: |
| | : | |
| Serial No.: | : | Group Art Unit: |
| | : | |
| Filed: March 3, 2004 | : | Examiner: |
| | : | |
| For: PHOTOVOLTAIC DEVICE AND DEVICE HAVING TRANSPARENT CONDUCTIVE FILM | : | |

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

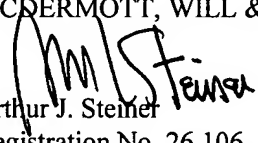
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. JP 2003-069007, filed on March 14, 2003.

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:gav
Facsimile: (202) 756-8087
Date: March 3, 2004

日本国特許庁 *McDermott, Will & Emery*
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月14日
Date of Application:

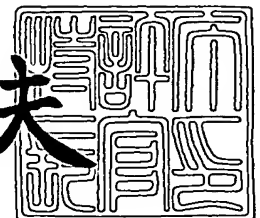
出願番号 特願2003-069007
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-069007]

出願人 三洋電機株式会社
Applicant(s):

2003年11月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 LCB1030004

【提出日】 平成15年 3月14日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 31/04

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
 三洋電機株式会社内

 【氏名】 丸山 英治

【特許出願人】

 【識別番号】 000001889

 【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

 【代表者】 桑野 幸徳

【代理人】

 【識別番号】 100104433

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 宮園 博一

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 073613

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 0001887

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光起電力装置および透明導電膜を有する素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 表面側から光が入射される光電変換層と、
前記光電変換層の表面上に形成され、(2 2 2) 面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、前記酸化インジウム層における(2 2 2) のピークが、2 つのピークを含む透明導電膜とを備えた、光起電力装置。

【請求項 2】 前記透明導電膜がその上に形成され、非晶質半導体および微結晶半導体のうちの少なくともいずれかからなる半導体層をさらに備える、請求項 1 に記載の光起電力装置。

【請求項 3】 前記酸化インジウム層における(2 2 2) のピークは、
2 θ (θ : X 線回折角) が 30.1 ± 0.1 度の第 1 ピークと、
2 θ (θ : X 線回折角) が 30.6 ± 0.1 度の第 2 ピークとを含む、請求項 1 または 2 に記載の光起電力装置。

【請求項 4】 前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの強度比は、0.07 以上 0.9 以下である、請求項 3 に記載の光起電力装置。

【請求項 5】 前記酸化インジウム層は、Sn を含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光起電力装置。

【請求項 6】 表面および裏面を有し、前記表面側から光が入射される第 1 導電型の結晶系半導体基板と、

前記結晶系半導体基板の表面上に形成され、実質的に真性な第 1 非晶質半導体層と、

前記第 1 非晶質半導体層上に形成された第 2 導電型の第 2 非晶質半導体層と、
前記第 2 非晶質半導体層上に形成され、(2 2 2) 面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、前記酸化インジウム層における(2 2 2) のピークが、2 つのピークを含む透明導電膜とを備えた、光起電力装置。

【請求項 7】 基板と、
前記基板上に形成され、(2 2 2) 面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、前記酸化インジウム層における(2 2 2) のピークが、2 つのピーク

を含む透明導電膜とを備えた、透明導電膜を有する素子。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光起電力装置および透明導電膜を有する素子に関し、特に、酸化インジウム層からなる透明導電膜を備えた光起電力装置および透明導電膜を有する素子に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、酸化インジウム層からなる透明導電膜を備えた光起電力装置などの透明導電膜を有する素子が知られている（たとえば、特許文献 1 参照）。

【0 0 0 3】

上記特許文献 1 には、ドーパントとして S n を含む酸化インジウム錫（I T O : I n d i u m T i n O x i d e）層からなる透明導電膜を備えた光起電力装置が開示されている。以下、本願明細書では、透明導電膜を有する素子の一例として、光起電力装置を例にとって説明する。

【0 0 0 4】

図 7 は、従来の一例による透明導電膜を備えた光起電力装置の構造を示した斜視図である。図 7 を参照して、従来の一例による光起電力装置では、n 型単結晶シリコン基板 1 0 1 の上面上に、実質的に真性な i 型非晶質シリコン層 1 0 2、p 型非晶質シリコン層 1 0 3、I T O からなる透明導電膜 1 0 4 および金属からなる集電極 1 0 5 が順次形成されている。集電極 1 0 5 は、所定の間隔を隔てて互いに平行に延びるように形成された複数のフィンガー電極部 1 0 5 a と、フィンガー電極部 1 0 5 a に流れる電流を集合させるバスバー電極部 1 0 5 b とによって構成されている。また、n 型単結晶シリコン基板 1 0 1 の裏面上には、裏面電極 1 0 6 が形成されている。なお、n 型単結晶シリコン基板 1 0 1、i 型非晶質シリコン層 1 0 2 および p 型非晶質シリコン層 1 0 3 が、この順で積層されることにより H I T 構造（H e t e r o j u n c t i o n w i t h I n t r i n s i c T h i n - l a y e r）が形成されている。

【0005】

ここで、図7に示した従来の光起電力装置において、透明導電膜104は、低抵抗かつ低光吸収損失であることが、光起電力装置のエネルギー変換効率を向上させるのに有効であることが知られている。

【0006】**【特許文献1】**

特開平5-136440号公報

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来、低抵抗と低光吸収損失とを両立するための透明導電膜の構成について十分な検討が行われていないため、低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜を備えた光起電力装置を得ることが困難であるという問題点があった。

【0007】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜を備えた光起電力装置を提供することである。

【0008】

この発明のもう1つの目的は、低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜を有する素子を提供することである。

【0009】**【課題を解決するための手段および発明の効果】**

この発明の第1の局面における光起電力装置は、表面側から光が入射される光電変換層と、光電変換層の表面上に形成され、(222)面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、酸化インジウム層における(222)のピークが、2つのピークを含む透明導電膜とを備えている。

【0010】

この第1の局面による光起電力装置では、上記のように、透明導電膜を、(222)面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、酸化インジウム層における(222)のピークが、2つのピークを含むように形成することによって

、透明導電膜の抵抗を低減することができるので、光起電力装置の曲線因子（ F 、 F ）の低下を抑制することができる。また、上記のように透明導電膜を形成することによって、透明導電膜の光吸収損失を低減することができるので、光起電力装置の短絡電流（ I_{sc} ）を増加させることができる。また、透明導電膜の抵抗と光吸収損失とを同時に低減することができるので、低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜を備えた光起電力装置を得ることができる。

【0011】

上記第1の局面による光起電力装置において、好ましくは、透明導電膜がその上に形成され、非晶質半導体および微結晶半導体のうちの少なくともいずれかからなる半導体層をさらに備える。このように構成すれば、透明導電膜がその上に形成され、非晶質半導体および微結晶半導体のうちの少なくともいずれかからなる半導体層を備えた光起電力装置において、透明導電膜の抵抗と光吸収損失とを同時に低減することができる。

【0012】

上記第1の局面による光起電力装置において、好ましくは、酸化インジウム層における（222）のピークは、 2θ （ θ ：X線回折角）が 30.1 ± 0.1 度の第1ピークと、 2θ （ θ ：X線回折角）が 30.6 ± 0.1 度の第2ピークを含む。このように構成すれば、容易に、透明導電膜の抵抗と光吸収損失とを同時に低減することができる。

【0013】

上記第1の局面による光起電力装置において、好ましくは、第1ピークと第2ピークとの強度比は、0.07以上0.9以下である。このように構成すれば、容易に、光起電力装置の出力を向上させることができる。

【0014】

上記第1の局面による光起電力装置において、好ましくは、酸化インジウム層は、Snを含む。このように構成すれば、Snを含む酸化インジウム層（ITO膜）からなる透明導電膜を備えた光起電力装置において、透明導電膜の抵抗と光吸収損失とを同時に低減することができる。

【0015】

この発明の第2の局面における光起電力装置は、表面および裏面を有し、表面側から光が入射される第1導電型の結晶系半導体基板と、結晶系半導体基板の表面上に形成され、実質的に真性な第1非晶質半導体層と、第1非晶質半導体層上に形成された第2導電型の第2非晶質半導体層と、第2非晶質半導体層上に形成され、(222)面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、酸化インジウム層における(222)のピークが、2つのピークを含む透明導電膜とを備えている。

【0016】

この第2の局面による光起電力装置では、上記のように、透明導電膜を、(222)面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、酸化インジウム層における(222)のピークが、2つのピークを含むように形成することによって、透明導電膜の抵抗を低減することができるので、光起電力装置の曲線因子(F_{ff})の低下を抑制することができる。また、上記のように透明導電膜を形成することによって、透明導電膜の光吸収損失を低減することができるので、光起電力装置の短絡電流(I_{sc})を増加させることができる。また、第1導電型の結晶系半導体基板の表面上に、実質的に真性な第1非晶質半導体層および第2導電型の第2非晶質半導体層をこの順で形成することによって、表面側にHIT構造を有する光起電力装置を得ることができる。その結果、低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜を備えたHIT構造の光起電力装置を得ることができる。

【0017】

この発明の第3の局面における透明導電膜を有する素子は、基板と、基板上に形成され、(222)面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、酸化インジウム層における(222)のピークが、2つのピークを含む透明導電膜とを備えている。

【0018】

この第3の局面による透明導電膜を有する素子では、上記のように、透明導電膜を、(222)面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、酸化インジウム層における(222)のピークが、2つのピークを含むように形成するこ

とによって、透明導電膜の抵抗と光吸収損失とを同時に低減することができる。
これにより、低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜を有する素子を得ることができる。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0020】

図1は、本発明の一実施形態による光起電力装置の構造を示した斜視図である。
まず、図1を参照して、本実施形態による光起電力装置の構造について説明する。本実施形態による光起電力装置では、約 $1\ \Omega \cdot \text{cm}$ の抵抗率と約 $300\ \mu\text{m}$ の厚みとを有するn型(100)単結晶シリコン基板1(以下、n型単結晶シリコン基板1という)の上面上に、約 $5\ \text{nm}$ の厚みを有する実質的に真性のi型非晶質シリコン層2が形成されている。i型非晶質シリコン層2上には、約 $5\ \text{nm}$ の厚みを有するp型非晶質シリコン層3が形成されている。これにより、本実施形態では、光起電力装置の表面側にHIT構造が形成されている。なお、n型単結晶シリコン基板1は、本発明の「光電変換層」および「結晶系半導体基板」の一例である。また、i型非晶質シリコン層2は、本発明の「第1非晶質半導体層」の一例である。また、p型非晶質シリコン層3は、本発明の「第2非晶質半導体層」の一例である。

【0021】

また、本実施形態では、p型非晶質シリコン層3上には、約 $100\ \text{nm}$ の厚みを有するITO膜からなる透明導電膜4が形成されている。この透明導電膜4は、X線回折スペクトルにおいて、 2θ (θ : X線回折角)が 30.1 ± 0.1 度の第1ピークと、 2θ (θ : X線回折角)が 30.6 ± 0.1 度の第2ピークとの2つのピークを有する(222)のピークを含むITO膜によって形成されている。

【0022】

透明導電膜4の上面上の所定領域には、銀(Ag)からなる約 $10\ \mu\text{m}$ ～約 $30\ \mu\text{m}$ の厚みを有する集電極5が形成されている。この集電極5は、所定の間隔

を隔てて互いに平行に延びるように形成された複数のフィンガー電極部 5 a と、フィンガー電極部 5 a に流れる電流を集合させるバスバー電極部 5 b とによって構成されている。また、n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面上には、約 $10\ \mu\text{m}$ ～ 約 $30\ \mu\text{m}$ の厚みを有する銀 (A g) からなる裏面電極 6 が形成されている。

【0023】

次に、図 1 を参照して、本実施形態の光起電力装置の製造プロセスについて説明する。まず、図 1 に示すように、約 $1\ \Omega \cdot \text{cm}$ の抵抗率と約 $300\ \mu\text{m}$ の厚みを有する n 型単結晶シリコン基板 1 を洗浄することにより不純物を除去する。そして、RF プラズマ CVD 法を用いて、周波数：約 $13.56\ \text{MHz}$ 、形成温度：約 100°C ～ 約 300°C 、反応圧力：約 $5\ \text{Pa}$ ～ 約 $100\ \text{Pa}$ 、RF パワー：約 $1\ \text{mW}/\text{cm}^2$ ～ 約 $500\ \text{mW}/\text{cm}^2$ の条件下で、n 型単結晶シリコン基板 1 上に、i 型非晶質シリコン層 2 および p 型非晶質シリコン層 3 をそれぞれ約 $5\ \text{nm}$ の厚みで順次堆積する。これにより、p i n 接合を形成する。なお、p 型非晶質シリコン層 3 を形成する際の p 型ドーパントとしては、3 族元素である B、Al、Ga、In が挙げられる。p 型非晶質シリコン層 3 の形成時に、 SiH_4 (シラン) ガスなどの原料ガスに、上記した p 型ドーパントの少なくとも 1 つを含む化合物ガスを混合することによって、p 型非晶質シリコン層 3 を形成することが可能である。

【0024】

次に、p 型非晶質シリコン層 3 上に、スパッタリング法 (DC スパッタ法) を用いて、ITO 膜からなる透明導電膜 4 を形成する。具体的には、 SnO_2 粉末を 5 wt % 含む In_2O_3 粉末の焼結体からなるターゲットを、チャンバ (図示せず) 内のカソード (図示せず) に設置する。この場合、 SnO_2 粉末の量を変化させることにより、ITO 膜中の Sn 量を変化させることが可能である。In に対する Sn の量は、1 wt % ～ 10 wt % が好ましく、2 wt % ～ 7 wt % がより好ましい。また、ターゲットの焼結密度は、約 90 % 以上であることが好ましい。なお、透明導電膜 4 の形成には、透明導電膜 4 の下地となる p 型非晶質シリコン層 3 に対して与えられるプラズマダメージを抑制するために、マグネットによってカソードの表面に約 $500\ \text{Gauss}$ ～ 約 $3000\ \text{Gauss}$ の強磁場を

印加可能な装置を使用する。

【0025】

そして、p型非晶質シリコン層3が形成されたn型単結晶シリコン基板1をカソードと平行に対向配置した状態で、チャンバ（図示せず）を真空排気する。そして、加熱ヒータ（図示せず）を用いて、基板温度を室温から約100℃の範囲で制御する。その後、基板温度を室温から約100℃の範囲で制御しながら、ArとO₂との混合ガスを流して圧力を約0.4Pa～約1.3Paに保持し、カソードに約0.5kW～約2kWのDC電力を投入することにより放電を開始する。この場合、n型単結晶シリコン基板1をカソードに対して静止させた状態で成膜速度は約10nm/min～約80nm/minとなる。以上のようにして、ITO膜からなる透明導電膜4を約100nmの厚みに形成した後、放電を停止する。

【0026】

次に、スクリーン印刷法を用いて、透明導電膜4の上面上の所定領域に、エポキシ樹脂に銀（Ag）微粉末を練り込んだAgペーストを、約10μm～約30μmの厚みと、約100μm～約500μmの幅とを有するように形成した後、約200℃で約80分間焼成することによって硬化する。これにより、所定の間隔を隔てて互いに平行に延びるように形成された複数のフィンガー電極部5aと、フィンガー電極部5aに流れる電流を集合させるバスバー電極部5bとからなる集電極5が形成される。以上のようにして、図1に示されるような本実施形態による光起電力装置が形成される。

【0027】

次に、上記した本実施形態による効果を確認するために、透明導電膜のX線回折スペクトル、および、透明導電膜を備えた光起電力装置のIV特性を測定した実験について説明する。まず、SnO₂粉末を5wt%含むIn₂O₃粉末の焼結体からなるターゲットを用いて、DCスパッタ法によりp型非晶質シリコン層上に約100nmの厚みを有する透明導電膜（ITO膜）が形成された光起電力装置を作製した。このときの透明導電膜の他の形成条件は、基板温度：60℃、Ar流量：200sccm、酸素流量：0～20sccm、圧力：0.5Pa、D

C電力：1 kW、カソードへの印加磁場：1000 Gauss～3000 Gaussであった。この光起電力装置の透明導電膜以外の部分の構造および作製プロセスは、上記した本実施形態による光起電力装置と同様である。なお、X線回折スペクトルの信号を良好に検出するため、n型単結晶シリコン基板として、表面が比較的フラットな形状に形成された基板を用いた。以上のようにして作製された光起電力装置の透明導電膜について、X線分析装置を用いてX線回折スペクトルを測定することにより、透明導電膜（ITO膜）の結晶配向性の評価を行った。

【0028】

X線回折スペクトルの測定は、上記の光起電力装置について、200℃で80分間の大気乾燥を行う工程の前後にそれぞれ行った。なお、200℃、80分間の大気乾燥は、前述した集電極の形成条件に相当する。図2は、200℃で80分間の大気乾燥を行った後の光起電力装置の透明導電膜（ITO膜）について測定したX線回折スペクトルを示した図である。大気乾燥を行う前のITO膜では、非晶質成分を多く含む場合に特有のX線回折スペクトル（図示せず）が見られる。その一方、大気乾燥を行うと、図2に示すように、明確なピークが現れることから、ITO膜の結晶化が大幅に促進されていることがわかる。また、このX線回折スペクトルにおいて、最も強度の強い（X線分析装置の検出器によるカウント数が大きい）ピークは（222）であることがわかる。これにより、この光起電力装置の透明導電膜は、極めて（222）配向の強いITO膜からなることがわかった。

【0029】

図3は、図2に示したX線回折スペクトルの（222）ピーク付近の拡大図である。図3を参照して、（222）ピークは、 $2\theta = 30.1^\circ$ （ θ ：X線回折角）のピーク（図3中のP1）と、 $2\theta = 30.55^\circ$ （ θ ：X線回折角）のピーク（図3中のP2）との2つのピークを有していることがわかる。一般的なITO膜では、 $2\theta = 30.55^\circ$ 付近のピーク（P2）が見られることは従来から知られている。その一方で、 $2\theta = 30.1^\circ$ 付近のピーク（P1）はあまり見られることはない。このことから、本実施形態による透明導電膜のITO膜が

、従来よりも格子定数が若干大きいITOの結晶を含んでいることがわかる。なお、以下、X線回折スペクトルの $2\theta = 30.1 \pm 0.1$ 度のピーク(P1)を第1ピーク、 $2\theta = 30.6 \pm 0.1$ 度のピーク(P2)を第2ピークと記載する。

【0030】

図4には、 SnO_2 粉末を5wt%含む In_2O_3 粉末の焼結体からなるターゲットを用いて、DCスパッタ法により、酸素流量を変化させて透明導電膜(ITO膜)を形成した場合の、規格化酸素流量と、第1ピーク(P1)と第2ピーク(P2)とのピーク強度比 I_1/I_2 との関係が示されている。このときの透明導電膜の他の形成条件は、基板温度： 60°C 、Ar流量： 200 sccm 、圧力： 0.5 Pa 、DC電力： 1 kW 、カソードへの印加磁場： 2000 Gauss である。なお、第1ピーク(P1)のピーク強度 I_1 および第2ピーク(P2)のピーク強度 I_2 には、X線分析装置の検出器によって検出された第1ピーク(P1)および第2ピーク(P2)のカウント数を用いる。また、図4では、透明導電膜のシート抵抗が最小になる酸素流量(4 sccm)を1として規格化した酸素流量を規格化酸素流量として示している。図4を参照して、規格化酸素流量の増加に伴って、 I_1/I_2 が増加することがわかる。このことから、透明導電膜を形成する際に、酸素流量を制御することによって、透明導電膜のピーク強度比 I_1/I_2 を制御することができることがわかる。

【0031】

また、図5には、 SnO_2 粉末を5wt%含む In_2O_3 粉末の焼結体からなるターゲットを用いて、DCスパッタ法により、カソードへの印加磁場を $500\text{ Gauss} \sim 3000\text{ Gauss}$ の範囲で変化させて透明導電膜(ITO膜)を形成した場合の、カソードへの印加磁場の磁場強度と、ピーク強度比 I_1/I_2 との関係が示されている。このときの透明導電膜の他の形成条件は、基板温度： 60°C 、Ar流量： 200 sccm 、規格化酸素流量：約2.7(酸素流量：約 10.8 sccm)、圧力： 0.5 Pa 、DC電力： 1 kW である。図5を参照して、磁場強度の増加に伴って、 I_1/I_2 が増加することがわかる。このことから、透明導電膜を形成する際に、カソードへの印加磁場の磁場強度を制御するこ

とによって、透明導電膜のピーク強度比 I_1/I_2 を制御することができることがわかる。

【0032】

次に、光起電力装置の透明導電膜のピーク強度比 I_1/I_2 と、光起電力装置の $I-V$ 特性パラメータ（開放電圧（ V_{oc} ）、短絡電流（ I_{sc} ）、曲線因子（ $F.F.$ ）およびセル出力（ P_{max} ））との関係について評価した結果について説明する。図6には、図4に対応するピーク強度比 I_1/I_2 と、光起電力装置の $I-V$ 特性パラメータ（開放電圧（ V_{oc} ）、短絡電流（ I_{sc} ）、曲線因子（ $F.F.$ ）、セル出力（ P_{max} ））の規格値との関係が示されている。図6では、 $I-V$ 特性パラメータの規格化は、基板温度：60℃、カソードへの印加磁場：2000 Gauss の条件下で、透明導電膜のシート抵抗が最小になる酸素流量（4 sccm）で透明導電膜を形成した場合の光起電力装置の $I-V$ 特性パラメータによりそれぞれ行った。すなわち、この $I-V$ 特性パラメータの規格化は、図4において規格化酸素流量が1（酸素流量：4 sccm）の時の光起電力装置の $I-V$ 特性パラメータによりそれぞれ行った。

【0033】

図6を参照して、曲線因子（ $F.F.$ ）は、 I_1/I_2 が0.5以下では、ほとんど低下しないことがわかる。また、曲線因子（ $F.F.$ ）は、 I_1/I_2 が0.5を超えると、わずかに低下する傾向を示すことがわかる。ただし、この曲線因子（ $F.F.$ ）の低下の程度は、従来の光吸収損失をより低減できる透明導電膜を用いた場合の光起電力装置における曲線因子（ $F.F.$ ）の低下の程度に比べて非常に小さい。ここで、曲線因子（ $F.F.$ ）は、光起電力装置の透明導電膜の抵抗と相関を有する値である。すなわち、光起電力装置の透明導電膜の抵抗が増加する場合には、曲線因子（ $F.F.$ ）が低下するという相関を有する。したがって、本実施形態による光起電力装置では、曲線因子（ $F.F.$ ）の低下の程度が従来より非常に小さいので、透明導電膜の抵抗の増加が従来より非常に小さいことがわかる。このように、本実施形態による光起電力装置では、透明導電膜の抵抗が従来より低減されていることがわかる。なお、図6において、わずかながら曲線因子（ $F.F.$ ）が低下する傾向を示しているのは、透明導電膜の

若干の高抵抗化、および、p 型非晶質シリコン基板と透明導電膜との界面におけるオーミック性の低下によるものと考えられる。

【0034】

また、図6から、 I_1/I_2 が0.9以下の範囲で開放電圧 (V_{oc}) は、1以上の値に維持されていることがわかる。このことから、本実施形態による光起電力装置では、開放電圧 (V_{oc}) を低下させることなく維持できることがわかる。このような結果が得られたのは、次のような理由によると考えられる。すなわち、スパッタリングによる透明導電膜の形成時に、従来より低い基板温度の条件下で、カソードに高磁場を印加することによって、高酸素流量条件においても透明導電膜の下地となる p 型非晶質シリコン層に対して与えられるプラズマダメージが抑制されたと考えられる。このため、開放電圧 (V_{oc}) を低下させることなく維持できると考えられる。

【0035】

また、図6から、 I_1/I_2 が0.5以下の範囲では、 I_1/I_2 の増加に伴って、短絡電流 (I_{sc}) が増加し、 I_1/I_2 が0.5を超えると、短絡電流 (I_{sc}) がほぼ一定の値で飽和することがわかる。ここで、短絡電流 (I_{sc}) は、光起電力装置の透明導電膜の光吸収損失と相関を有する値である。具体的には、光起電力装置の透明導電膜の光吸収損失が減少すると、短絡電流 (I_{sc}) が増加するという相関がある。したがって、本実施形態による光起電力装置では、 I_1/I_2 が0.5以下の範囲では、 I_1/I_2 の増加に伴って、透明導電膜の光吸収損失が減少し、 I_1/I_2 が0.5を超えると、光吸収損失の減少が停止するとともに、ほぼ一定の値で安定することがわかる。これにより、本実施形態による光起電力装置では、透明導電膜の光吸収損失が低減されることがわかる。

【0036】

また、図6から、 I_1/I_2 が0.5までは、 I_1/I_2 の増加に伴って、セル出力 (P_{max}) が増加し、 I_1/I_2 が0.5付近でセル出力 (P_{max}) が最大となるとともに、 I_1/I_2 が0.5を超えると、セル出力 (P_{max}) が減少することがわかる。ここで、セル出力 (P_{max}) は、曲線因子 (F 、 F

.) および短絡電流 (I_{sc}) が増加するのに伴って、増加することが知られている。 I_1/I_2 が 0.5 までは、図 6 に示すように、曲線因子 ($F.F.$) がほとんど低下しないととも、短絡電流 (I_{sc}) は I_1/I_2 の増加に伴って増加する。したがって、 I_1/I_2 が 0.5 までの I_1/I_2 の増加に伴うセル出力 (P_{max}) の増加は、短絡電流 (I_{sc}) の増加に起因するものと考えられる。また、 I_1/I_2 が 0.5 付近で、曲線因子 ($F.F.$) がほとんど低下していないとともに、短絡電流 (I_{sc}) がほぼ一定の値で飽和するので、セル出力 (P_{max}) はこのとき最大となると考えられる。また、 I_1/I_2 が 0.5 を超えると、曲線因子 ($F.F.$) が低下するととも、短絡電流 (I_{sc}) がほぼ一定の値で飽和する。したがって、 I_1/I_2 が 0.5 を超えた後の I_1/I_2 の増加に伴うセル出力 (P_{max}) の減少は、曲線因子 ($F.F.$) の低下に起因するものと考えられる。

【0037】

また、 I_1/I_2 が 0.07 以上 0.9 以下の範囲では、セル出力 (P_{max}) が 1.01 以上を示し、 I_1/I_2 が 0.25 以上 0.75 以下の範囲では、セル出力 (P_{max}) が 1.02 以上を示すことがわかる。これにより、本実施形態では、透明導電膜 (ITO 膜) の I_1/I_2 が 0.07 以上 0.9 以下の範囲では、光起電力装置のセル出力 (P_{max}) を、透明導電膜のシート抵抗が最小になる場合に比べて、1% 以上向上させることができることがわかる。また、透明導電膜 (ITO 膜) の I_1/I_2 が 0.25 以上 0.75 以下の範囲では、光起電力装置のセル出力 (P_{max}) を、透明導電膜のシート抵抗が最小になる場合に比べて、2% 以上向上させることができることがわかる。

【0038】

本実施形態では、上記のように、透明導電膜 4 を、(222) 面の配向を有する ITO 膜を含むとともに、ITO 膜における (222) のピークが、 $2\theta = 30.1 \pm 0.1$ 度の第 1 ピーク (P_1) と、 $2\theta = 30.6 \pm 0.1$ 度の第 2 ピーク (P_2) との 2 つのピークを含むように形成することによって、透明導電膜 4 の抵抗を低減することができるので、光起電力装置の曲線因子 ($F.F.$) の低下を抑制することができる。また、上記のように透明導電膜 4 を形成すること

によって、透明導電膜 4 の光吸収損失を低減することができるので、光起電力装置の短絡電流 (I_{sc}) を増加させることができる。また、透明導電膜 4 の抵抗と光吸収損失とを同時に低減することができるので、低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜 4 を備えた光起電力装置を得ることができる。

【0039】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0040】

たとえば、上記実施形態では、 n 型単結晶シリコン基板からなる光電変換層を用いる場合について説明したが、本発明はこれに限らず、 p 型単結晶シリコン基板からなる光電変換層や、非晶質シリコン層からなる光電変換層を用いる場合にも、同様の効果を得ることができる。

【0041】

また、上記実施形態では、 HIT 構造を有する光起電力装置に本発明を適用したが、本発明はこれに限らず、 HIT 構造を有しない光起電力装置に適用しても同様の効果を得ることができる。

【0042】

また、上記実施形態では、透明導電膜を有する素子の一例として、光起電力装置を例にとって説明したが、本発明はこれに限らず、光起電力装置以外の透明導電膜を有する素子に本発明を適用することができる。たとえば、画像表示用のディスプレイなどに用いられる発光素子などに本発明を適用することができる。発光素子に適用する場合には、光出射側の透明導電膜に本発明を適用するとよい。

【0043】

また、上記実施形態では、半導体材料として、シリコン (Si) を用いたが、本発明はこれに限らず、 $SiGe$ 、 $SiGeC$ 、 SiC 、 SiN 、 $SiGeN$ 、 $SiSn$ 、 $SiSnN$ 、 $SiSnO$ 、 SiO 、 Ge 、 GeC 、 GeN のうちのいずれかの半導体を用いてもよい。この場合、これらの半導体は、結晶質、または

、水素およびフッ素の少なくとも一方を含む非晶質または微結晶であってもよい。

【0044】

また、上記実施形態では、非晶質シリコン層上に透明導電膜を形成した場合を例にとって説明したが、本発明はこれに限らず、微結晶シリコン層、非晶質 SiC 層、非晶質 SiO 層の上に、本発明による透明導電膜を形成した場合にも、同様の効果を得ることができることが本願発明者の実験により確認済みである。

【0045】

また、上記実施形態では、RF プラズマ CVD 法を用いて i 型非晶質シリコン層および p 型非晶質シリコン層を形成したが、本発明はこれに限らず、蒸着法、スパッタ法、マイクロ波プラズマ CVD 法、ECR 法、熱 CVD 法、LPCVD (減圧 CVD) 法など他の方法を用いて、非晶質シリコン層を形成してもよい。

【0046】

また、上記実施形態では、透明導電膜を構成する材料として、Sn をドープした酸化インジウム (ITO) 膜を用いたが、本発明はこれに限らず、酸化インジウムに Sn 以外の材料をドープした ITO 膜以外の材料からなる透明導電膜を用いてもよい。たとえば、Zn、As、Ca、Cu、F、Ge、Mg、S、Si および Te の少なくとも 1 つを化合物粉末として適量、酸化インジウム粉末 (In_2O_3) に混ぜて焼結することにより作製したターゲットを用いて形成した透明導電膜を用いてもよい。

【0047】

また、上記実施形態では、透明導電膜を構成する ITO 膜のスパッタリング時に、Ar ガスを用いたが、本発明はこれに限らず、He、Ne、Kr、Xe の他の不活性ガスまたはこれらの混合気体を用いることも可能である。

【0048】

また、上記実施形態では、DC スパッタ法を用いて、酸素流量およびカソードに印加する磁場強度を変化させることにより、ピーク強度比 I_1/I_2 の異なる透明導電膜を形成したが、本発明はこれに限らず、このような方法以外の方法を用いて、 I_1/I_2 の異なる透明導電膜を形成してもよい。たとえば、DC に R

Fを重畳したスパッタ法やイオンプレーティング法などを用いるとともに、適当な形成条件を設定することによっても、 I_1/I_2 の異なる透明導電膜を形成することができる。この場合にも、2つのピークを有する(222)ピークを含むITO膜からなる透明導電膜を形成すれば、本発明と同様の効果を得ることができる。また、このような方法を用いた場合でも、透明導電膜の下地となる半導体層に対するプラズマダメージを抑制可能である。

【0049】

また、上記実施形態では、表面側にのみHIT構造を有する光起電力装置に本発明を適用した例について説明したが、本発明はこれに限らず、表面側と裏面側との両側にHIT構造を有する両面HIT構造の光起電力装置に本発明を適用した場合にも同様の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施形態による光起電力装置の構造を示した斜視図である。

【図2】

200℃で80分間の大気乾燥を行った後の光起電力装置の透明導電膜(ITO膜)について測定したX線回折スペクトルを示した図である。

【図3】

図2に示したX線回折スペクトルの(222)ピーク付近の拡大図である。

【図4】

酸素流量を変化させて透明導電膜(ITO膜)を形成した場合の、規格化酸素流量と、第1ピーク(P1)と第2ピーク(P2)とのピーク強度比 I_1/I_2 との関係を示した相関図である。

【図5】

カソードへの印加磁場を500 Gauss～3000 Gaussの範囲で変化させて透明導電膜(ITO膜)を形成した場合の、カソードへの印加磁場の磁場強度と、ピーク強度比 I_1/I_2 との関係を示した相関図である。

【図6】

図4に対応するピーク強度比 I_1/I_2 と、光起電力装置のIV特性パラメー

タ（開放電圧（ V_{oc} ）、短絡電流（ I_{sc} ）、曲線因子（ $F.F.$ ）、セル出力（ P_{max} ））の規格値との関係を示した相関図である。

【図 7】

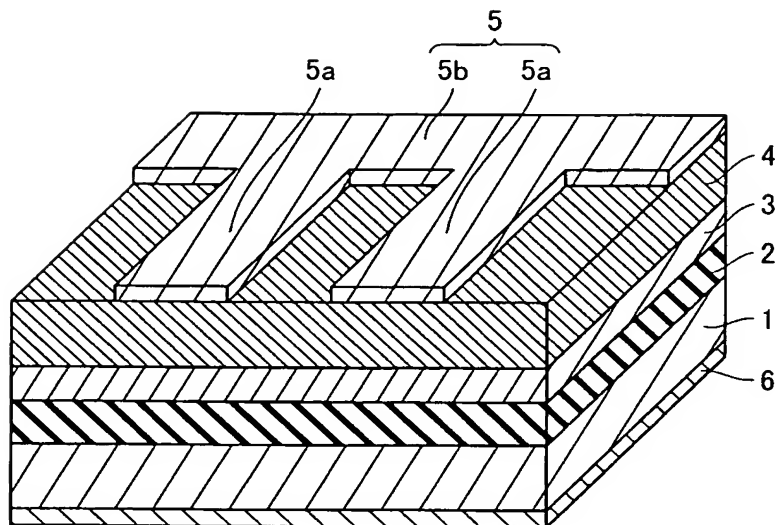
従来の一例による透明導電膜を備えた光起電力装置の構造を示した斜視図である。

【符号の説明】

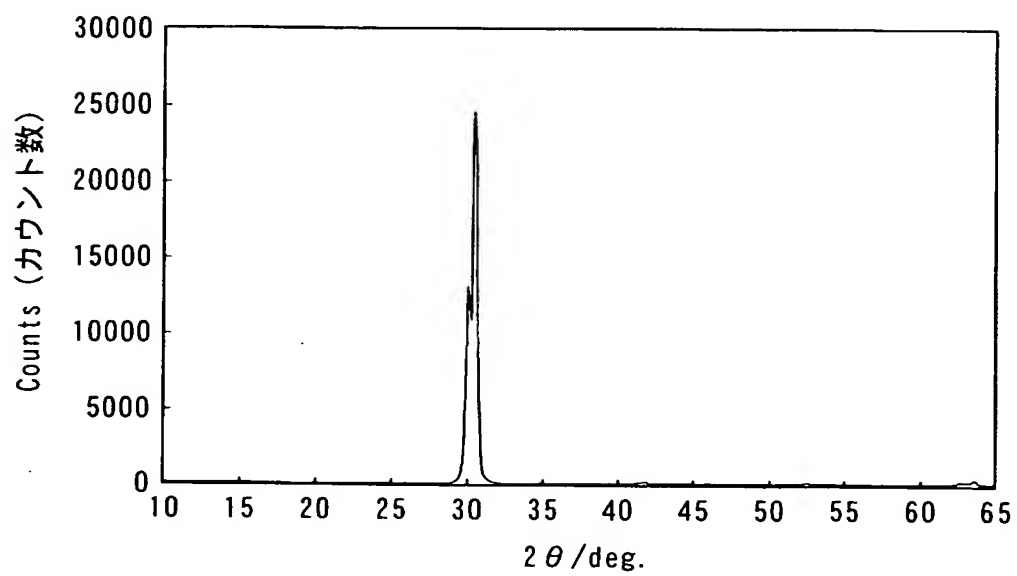
- 1 n 型単結晶シリコン基板（光電変換層、結晶系半導体基板）
- 2 i 型非晶質シリコン層（第 1 非晶質半導体層）
- 3 p 型非晶質シリコン層（第 2 非晶質半導体層）
- 4 透明導電膜
- 5 集電極
- 5 a フィンガー電極部
- 5 b バスバー電極部
- 6 裏面電極

【書類名】 図面

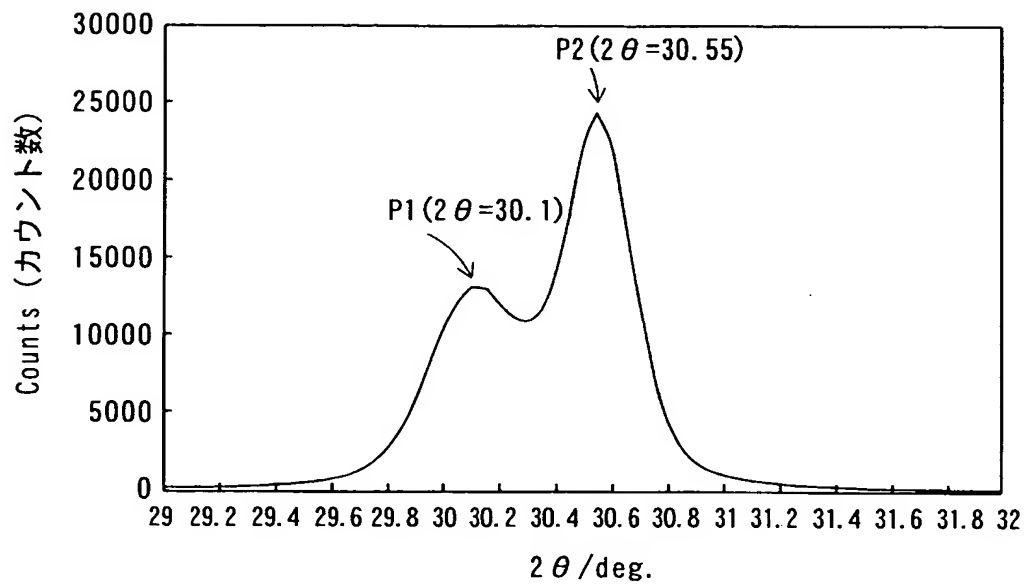
【図 1】



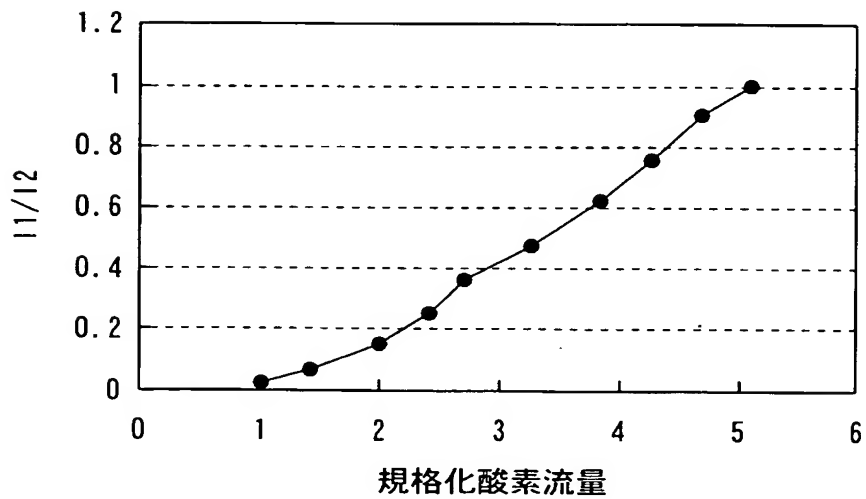
【図 2】



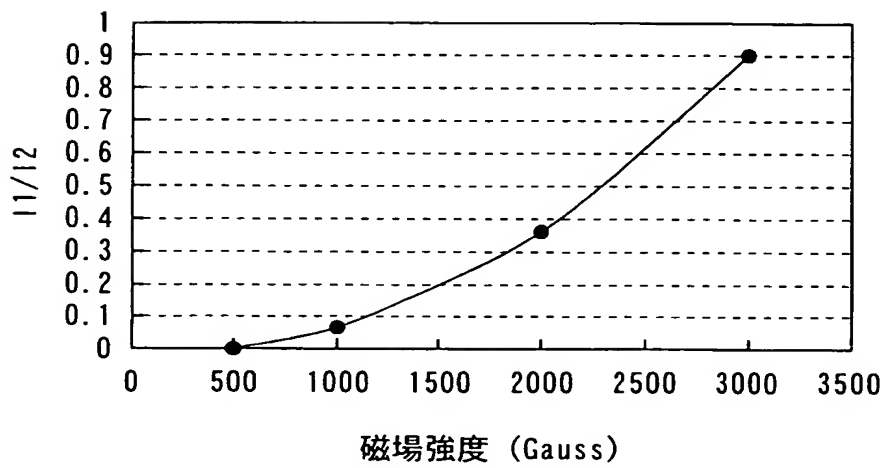
【図 3】



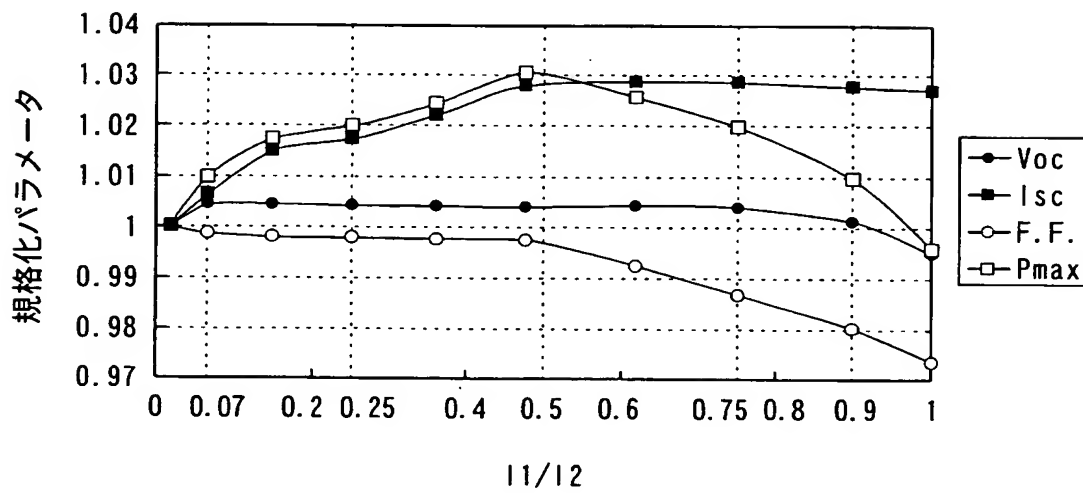
【図 4】



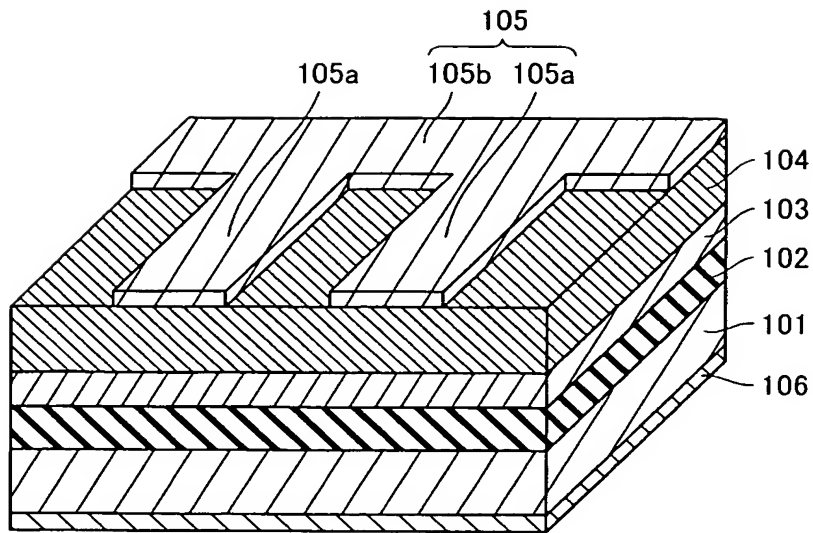
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 低抵抗と低光吸収損失とが両立された透明導電膜を備えた光起電力装置を提供する。

【解決手段】 この光起電力装置は、表面側から光が入射される n 型単結晶シリコン基板 1 からなる光電変換層と、光電変換層の表面上に形成され、(2 2 2) 面の配向を有する酸化インジウム層を含むとともに、酸化インジウム層における (2 2 2) のピークが、2 つのピークを含む透明導電膜 4 とを備えている。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 6 9 0 0 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 8 8 9]

1 . 変更年月日

1 9 9 3 年 1 0 月 2 0 日

[変更理由]

住所変更

住 所

大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号

氏 名

三洋電機株式会社